

# 复杂岩溶区深埋长隧洞涌水量预测分析

陈 长 生, 周 云, 王 家 祥, 张 海 平

(长江三峡勘测研究院有限公司(武汉), 湖北 武汉 430074)

**摘要:**涌突水是深埋长隧洞施工中最为突出的地质灾害之一,尤其是在岩溶发育地区,做好涌水量预测分析是保证施工安全的前提。以滇中引水工程某深埋长隧洞为例,基于地下水模型系统软件 GMS,并结合隧洞穿越段地下水含水介质特性、岩体水文地质结构、地下水流动系统特征、地下水化学及其环境特点,建立了三维渗流场数值模型,经与传统经验公式相比较,对计算结果的差异性进行了分析,验证了数值计算方法的可行性。最后利用该模型对隧洞施工期不同工况下的涌水量进行了预测分析,并对周边地下水的影响进行论证,为工程设计和施工提供了科学的参考依据和技术支撑。

**关 键 词:**涌突水;岩溶;三维渗流数值模型;涌水量预测;深埋长隧洞

中图法分类号: P642

文献标志码: A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.10.008

涌突水是深埋长隧洞最主要的地质灾害之一,尤其在岩溶发育强烈的地区此类灾害更为突出,它不仅会给工程造成重大经济损失和人员伤亡,也将导致地下水水质污染和地表环境恶化,给周边居民生产生活带来不利影响,对此类隧洞做好涌水量预测分析具有重要现实意义<sup>[1]</sup>。隧洞涌水量预测分析研究已有较多成果,有很多经验计算公式和理论计算方法在工程实践中应用较广,但是不同的公式和计算方法之间差别很大,即便是预测的最优结果也与实际涌水量之间有较大差距,计算精确度有待提高<sup>[2-3]</sup>。因此,对隧洞涌水量的预测分析还需进行更深入的研究,应根据工程具体情况,在对场地水文及地质情况深入了解的基础上,建立相应预测模型。

本文以滇中引水工程某深埋长隧洞为依托,结合其地下水含水介质特性、岩体水文地质结构、地下水流动系统特征、地下水化学及其环境特点建立三维渗流场数值模型,就隧洞地下水涌水量预测及其对周边地下水的影响等多方面进行论证,进而为工程设计和施工提供科学的参考依据和技术支撑。

## 1 工程概况

该隧洞长约 60 km,见图 1,隧洞初始设计水位为

2 020 ~ 2 001 m,隧洞埋深一般 500 ~ 900 m,最大埋深约 1 396 m,沿线碳酸盐岩地层分布范围较广,岩溶发育较强烈,且穿越多条区域性活动大断裂,地质构造与岩溶水文地质条件极其复杂。

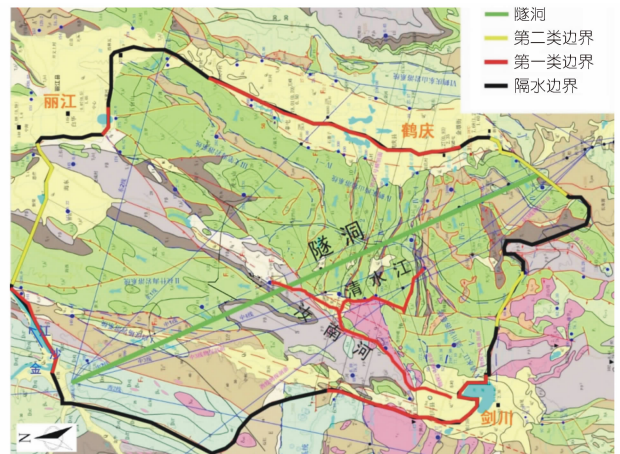


图 1 研究区三维建模边界区域与边界类型

## 1.1 地质背景

研究区地处云南北西部,属横断山系切割山地峡谷区向滇中盆地山原区之滇中红色高原亚区过渡地带,区内高山、深谷、盆地相间排列。

该隧洞穿越的马耳山脉山岭浑厚,东西宽 18 ~ 25

km,南北长约 90 km,地形陡峻连续,总体呈北高南低,山顶高程一般为 2 760 ~ 3 500 m,山岭间岩溶洼地、坡立谷分布广泛。山岭东侧为鹤庆盆地,西侧为剑川盆地,两盆地高程 2 200 m 左右;北侧及北东侧为拉什海和丽江盆地,前者地面高程 2 437 ~ 2 500 m,后者高程 2 400 m 左右,上述盆地周缘多有岩溶泉露出。

1.2 水文地质单元划分

根据研究区水文地质结构、地形分水岭的分布、岩溶化地层和隔水层的分布、地下水排泄点和泉群的位置等情况,并在对研究区野外水文地质进行调查和填图的基础上,参照区域水文地质钻探、物探,岩溶水文地质场研究和岩溶水示踪试验,将隧洞研究区划分为 6 个规模较大的岩溶水文地质单元,其中主要研究对象为隧洞中后段的鹤庆西山和剑川东山岩溶水文地质单元。

1.3 研究思路

- (1) 基于地下水模型系统软件 GMS( Groundwater Modeling System ),将隧洞研究区进行三维地质模型概化,建立水文地质模型。
- (2) 选取研究区多个长期观察钻孔的地下水位动态与模型计算成果进行拟合分析,不断优化模型,最终实现对隧洞施工期涌水的预测分析。

2 模型的建立及识别校正

2.1 三维水文地质结构模型

该模型的建立以钻孔资料为依托,以研究区岩相、沉积韵律与旋回研究为指导,以虚拟钻孔的添设为补充,以 GMS 为平台,最终得到研究区三维水文地质结构模型见图 2,三维水文地质结构模型剖面见图 3。

2.2 三维渗流模型

研究区面积约 1 654 km<sup>2</sup>,根据区内发育的主要泉水点、河流及主要断层,对研究区进行了三维渗流模型概化,边界区域与边界类型设置如图 1 所示。在此基础上,对研究区地下水数值模型采用 GMS 7.1 软件进行数值离散。

2.3 模型识别校正

模型识别是一个参数调节的过程,大多采用间接法反求水文地质参数,用尽可能多且分布比较均匀的观测孔进行水位拟合。模型的拟合主要结合长观孔的水位资料进行,此次研究沿隧洞共分布设 11 个长期观测孔,可充分反映地下水系统的结构及各种输入信息的特征,对模型及参数进行调整与修改。通过拟合发现,总体上观测值与计算值相差较小,在此基础上计算

得出枯水期和丰水期 2 116 ~ 2 223 m 高程(隧洞穿越高程临界部位)的水位等值线如图 4、5 所示。

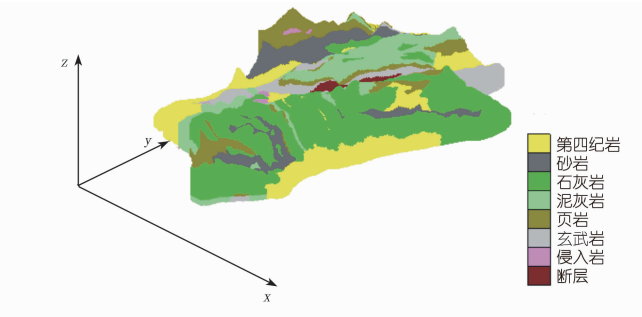


图 2 研究区三维水文地质结构模型( Y 轴正方向为北)

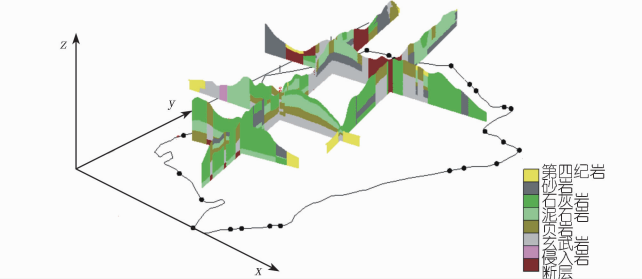


图 3 研究区三维水文地质结构模型剖面( Y 轴正方向为北)

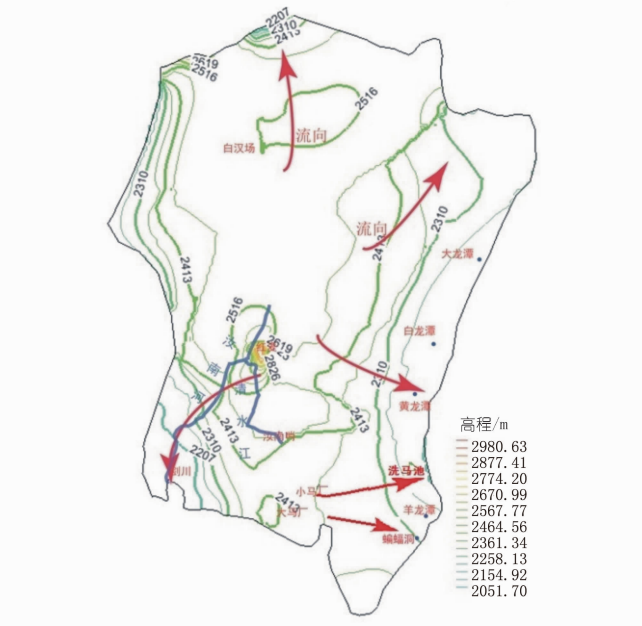


图 4 研究区枯水期地下水水位等值线

3 隧洞涌水量预测分析

利用 GMS 中的 Drain 模块,在隧洞施工期,对枯水期和丰水期隧洞开挖后的水位和水量变化情况进行预测分析。

3.1 隧洞排水疏干影响

分别在枯水期模型和丰水期模型中进行计算,计算后得含水层等水位线分布见图 6、7。

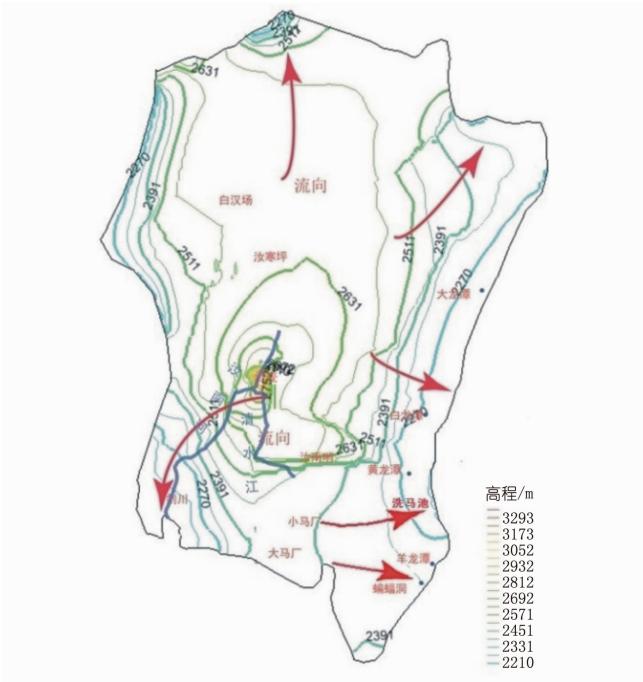


图 5 研究区丰水期地下水水位等值线

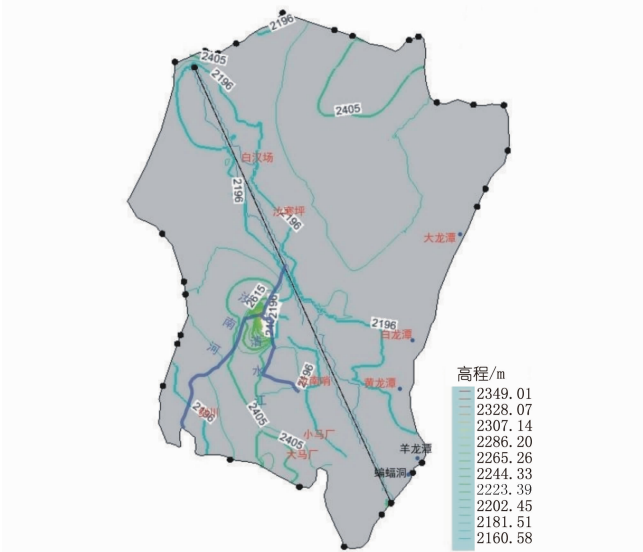


图 6 枯水期隧洞开挖后水位等值线

由图 6、7 可以看出,隧洞排水会造成区域地下水位的整体下降,其中枯水期下降的幅度更大。尤其是在白汉场、汝寒坪和马厂以南区域,水位下降幅度较大,可能会对羊龙潭和蝙蝠洞造成较大的影响,但是由于地下水位均高于鹤庆西山各泉的出水高程,因此对诸如大龙潭、白龙潭、黑龙潭等影响较小。丰水期时,对羊龙潭和蝙蝠洞的影响变小。

3.2 隧洞涌水量计算

(1) 理论稳定排水量。隧洞施工贯通后全隧洞的排水情况通过上述模型计算得到,在枯水期隧洞总的涌水量为 126 548 m<sup>3</sup>/d,平均单位长度隧洞涌水量为

2.42 m<sup>3</sup>/(d·m)。丰水期隧洞总的涌水量为 503 779 m<sup>3</sup>/d,平均单位长度隧洞涌水量为 9.65 m<sup>3</sup>/(d·m)。同时,采用水均衡法、水平坑道法计算,其结果对比见表 1。

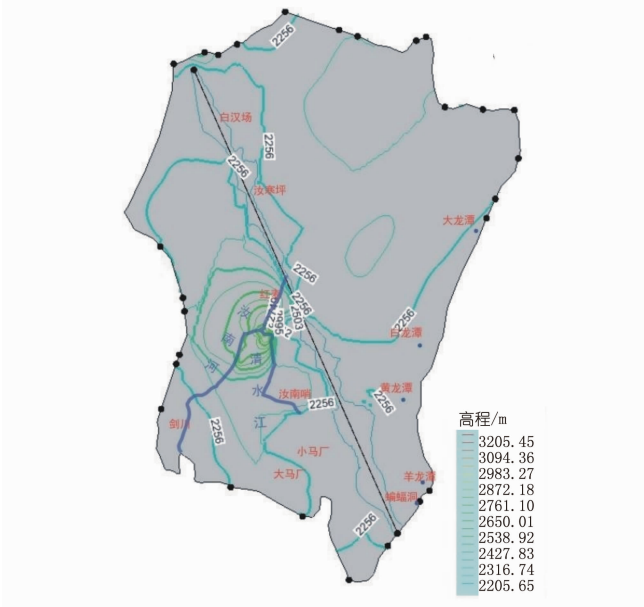


图 7 丰水期隧洞开挖后水位等值线

表 1 隧洞涌水量预测成果对比

项目	水均衡法		水平坑道法		数值法	
	总涌水量/ (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	单位长度涌水量/ [m <sup>3</sup> ·(d·m) <sup>-1</sup> ]	总涌水量/ (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	单位长度涌水量/ [m <sup>3</sup> ·(d·m) <sup>-1</sup> ]	总涌水量/ (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	单位长度涌水量/ [m <sup>3</sup> ·(d·m) <sup>-1</sup> ]
枯水期	630282	10.5	252233	4.2	126548	2.42
丰水期	3132369	52.2	1413642	23.6	503779	9.65

由表 1 可以看出,不同方法估算得到的隧洞涌水量有一定的差异。水均衡法考虑了全流域中降雨、地表水与地下水的均衡后,采用水均衡原理,考虑疏干影响后得到的涌水量,总体上计算结果偏大。

坑道法采用隧洞涌水量预测的经验公式,对不同岩性、构造影响下的隧洞分段预测涌水量,具有一定的可靠性。数值法在建立精细水文地质结构模型的基础上,采用数值模拟的方法计算流量,在计算理论上具有较高的可靠性。因此水平坑道法和数值法计算结果相对接近,正常情况下涌水量相差较小,丰水期涌水量有一定的差异。

(2) 不同施工工况下的涌水量。结合隧洞具体施工情况(由支洞施工),施工支洞特性见表 2,模拟正常、极端两种工况下的涌水量(见表 3)。

① 施工工况 1。两端不贯通,2、7 号支洞施工(均为斜井),来水抽排,保证施工(正常工况)。

② 施工工况 2。两端不贯通,2、7 号支洞施工(均为斜井),来水不排,不保证施工(极端工况)。



表 2 隧洞施工支洞工程特性

施工支洞	进口高程/ m	与主洞交点高程/m	角度/ (°)	坡度/ %	长度/m
2 号斜井	2372	2008.51	17.85	4.79	1240
7 号平洞	2115	1995.24	17.85	4.79	2468

表 3 不同施工工况下隧洞涌水量预测成果对比

项目	工况 1		工况 2	
	总涌水量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	单位长度涌水量/ ( $\text{m}^3 \cdot (\text{d} \cdot \text{m})^{-1}$ )	总涌水量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	单位长度涌水量/ ( $\text{m}^3 \cdot (\text{d} \cdot \text{m})^{-1}$ )
枯水期	122074.7	2.34	84431.5	1.62
丰水期	494832.4	9.48	240465.2	4.61

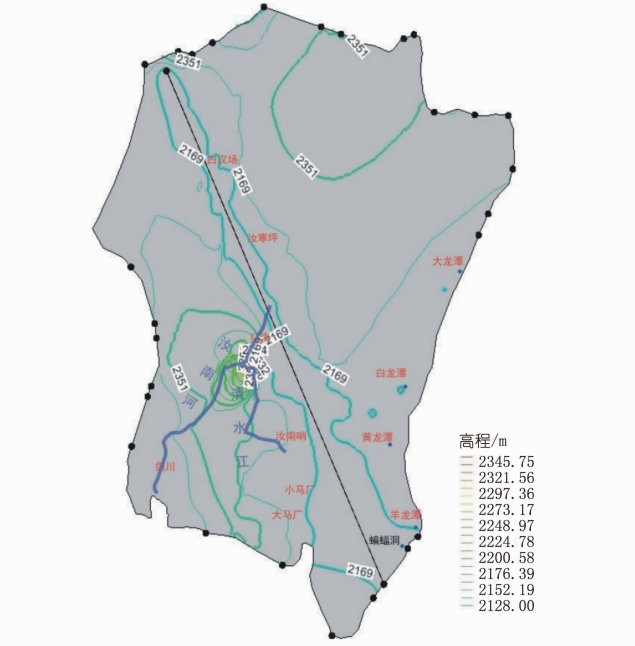


图 8 枯水期施工工况 2 稳定水位等值线

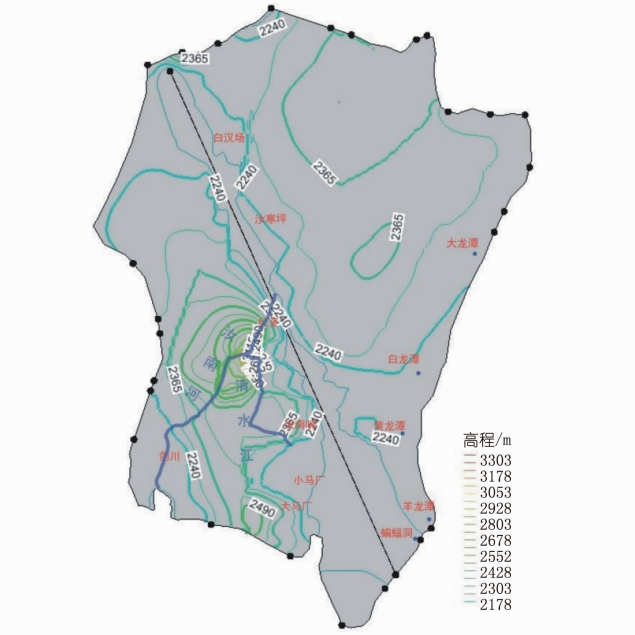


图 9 丰水期施工工况 2 稳定水位等值线

施工工况 2 隧洞排水对地下水位的影响见渗流场等值线图 8、9。由图可以得出,工况 2 较工况 1 条件下整个区域的地下水水位下降幅度较小。

4 结 语

本文采用三维数值建模方法对滇中引水工程某长大隧洞进行涌水预测分析,在现有勘察资料(钻孔数据)的基础上,对模型进行多次识别、拟合,并不断优化,总体上观测值与计算值相差较小,并采用了传统经验法进行计算论证,验证了数值模型预测分析的可行性。为了提高岩溶涌水预测的准确度,为其它隧洞工程设计及施工服务,总结以下几点建议。

(1) 宏观把握水文地质单元,在充分收集气象水文、区域地质等资料的基础上,查明岩溶发育特征,对研究区水文地质单元进行合理划分,是三维数值建模的基础。

(2) 翔实的野外地质勘察与三维建模的合理性息息相关,如重要地下水出露部位、断层性质(张性或者压扭性)、地层岩性等均是水头边界设置的关键。

(3) 隧洞涌水量计算是基于含水层是均质体的假设,但实际上含水层是不均一的,在模型建立过程中,应尽可能利用钻孔资料对不同地质单元进行分层并赋值,才能使得计算模型更为合理,预测结果更靠近实际。

参考文献:

[1] 郭龙. 复杂岩溶隧洞涌水量预测分析[J]. 科技创新导报,2010,10(2):78-79.

[2] 蒙彦,雷明堂. 岩溶区隧洞涌水研究现状及建议[J]. 中国岩溶,2003,22(4):287-292.

[3] 朱大力,李秋枫. 预测隧洞涌水量的方法[J]. 工程勘察,2000,21(4):18-23.

(编辑:赵凤超)



Analysis of water inrush forecast of deep – buried long tunnel in complex karst area

CHEN Changsheng, ZHOU Yun, WANG Jiayang, ZHANG Haiping

(Three Gorges Geotechnical Consultants Co., Ltd. (Wuhan), Wuhan 430074, China)

**Abstract:** The water inrush is one of the main geologic hazards in the construction of deep – buried long tunnel, especially in karst region. Therefore, it is of great important to forecast and analyze the quantity of water inrush. Taking a water diversion project in central Yunnan Province for example, the three dimensional mathematical model of seepage flow was established based on the groundwater model software GMS by consideration of aquiferous medium, the hydrogeological structure of rock mass, the characteristics of groundwater flow system and the chemistry of groundwater of tunnel. Compared with the results of traditional calculation method and emprical formula, the calculation result differences are analyzed and the feasibility of the numerical computation method was proved. By the model, we make a further systematic prediction of the water inrush quantity in different periods of construction, as well as make an in – depth analysis of construction impacts on surrounding groundwater.

**Key words:** water inrush; karst; three dimensional mathematical model of seepage flow; prediction on quantity of water inrush; deep – buried long tunnel

(上接第 23 页)

Multi – objective optimization of wind power station on account of wind turbine spinning reserve

TONG Jixin<sup>1</sup>, ZHU Ying<sup>1</sup>, FENG Hao<sup>2</sup>

(1. Bussiness School, Hohai University, Nanjing 211100, China; 2. College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China)

**Abstract:** As the proportion of new – type wind power station in on – grid system increases continuously, it poses a new challenge to the economic dispatching of traditional power system. It is noted that the economic dispatching of traditional power system should take account of the influences of wind power fluctuation on the spinning reserve and the cost of power generation. To optimize the dispatching of wind power station on account of turbine spinning reserve, an economic dispatching model that takes account of the overall cost of power generation and power price is established. The objective weighted method and distance function approach are combined to individualize the optimization objectives, while a genetic algorithm with real – value coding is adopted to efficiently work out an optimal solution to the model. The simulation results show that the methods proposed are effective.

**Key words:** spinning reserve; economic dispatching; genetic algorithm; multi – objective optimization; wind power station

(上接第 28 页)

Study of influence of freezing on water – proof structures reliability of concrete faced rockfill dam

TU'ERXUN Maimaitiming

(Design and Planning Management Bureau, Water Conservancy Department of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumuqi 830001, China)

**Abstract:** A series of indoor model tests were carried out to explore the reliability of water – proof structure of concrete faced rockfill dam under the low temperature condition in winter. Through these tests, we simulated the destructing force of frost heaving to the anchorage system under different cooling down conditions, and also obtained the frost parameters of ice to flat steel laying, to bolts and rubber covering plate. The influence of freeze – thaw cycling on anchoring force of expansion bolts in C30 concrete and the various grouting – sealing patterns were researched. At last, aiming to the measured data in case of collision between floating ice and the anti – seepage covering plates, the attention points and suggestions for the design of water – proof structures and anchorage system of concrete faced rockfill dam in cold area are put forward.

**Key words:** water – proof structure; frost heaving; anchorage system; freeze – thaw cycling; concrete faced rockfill dam